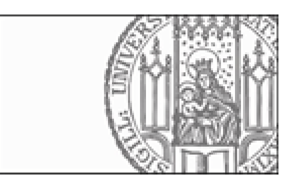




Prof. Dr. Göran Kauermann
+49 (0)89 2180-6253
goeran.kauermann@lmu.de
Institut für Statistik
Ludwigstr. 33
80539 München

Prof. Dr. Helmut Küchenhoff
+49 (0)89 2180-2789
kuechenhoff@stat.uni-muenchen.de
Institut für Statistik
Akademiestr. 1/IV
80799 München

Dr. Ursula Berger
+49 (0)89 440077486
ursula.berger@lmu.de
IBE
Marchioninistr. 15
81377 München

CODAG Bericht Nr. 20
03.09.2021

1. **Zur Bestimmung von Grenzwerten bei der Belegung von Intensivstationen und der Hospitalisierung**

   Wolfgang Hartl[1], Helmut Küchenhoff, Yeganeh Khazaei, Maximilian Weigert

2. **Prognosemodelle für die Belegung von Intensivstationen in Bayern**

   Maximilian Weigert, Daniel Schlichting, Martje Rave, Helmut Küchenhoff

3. **Analysen zu aktuellen Daten aus Bayern und Deutschland**

   Helmut Küchenhoff, Wolfgang Hartl, Daniel Schlichting

Vorherige CODAG Berichte und weitere Forschungsarbeiten sind auf der CODAG Homepage zu finden

https://www.covid19.statistik.uni-muenchen.de/index.html

[1] Klinik für Allgemeine, Viszeral-, und Transplantationschirurgie, Campus Großhadern,KUM

1. Zur Bestimmung von Grenzwerten bei der Belegung von Intensivstationen und der Hospitalisierung

Wolfgang Hartl, Helmut Küchenhoff, Yeganeh Khazaei, Maximilian Weigert

In der aktuellen Diskussion um die weitere Steuerung der Pandemie werden die Belegung der Intensivstationen und die Krankenhaus-Neuaufnahmen von COVID-19 Patient*innen als wichtige Steuerungsgrößen propagiert. Die Abkehr von der Meldeinzidenz als einzige Steuerungsgröße ist aus unserer Sicht eine sehr positive Entwicklung (siehe dazu beispielsweise unsere CODAG-Berichte, insbesondere Nr. 13). In Bayern gilt aktuell ein Grenzwert von 600 für die mit COVID-19 Patient*innen belegten Betten auf Intensivstationen („rote Ampel") und ein Wert von 1200 für die wöchentlichen in Kliniken neu aufgenommen COVID-19 Patient*innen („gelbe Ampel"). Im Zentrum stehen daher in diesem Bericht Datenanalysen speziell zu diesen zusätzlichen Pandemie-Indikatoren und zu Strategien zur Bestimmung von Grenzwerten für diese Indikatoren.

Belegung von Intensivstationen

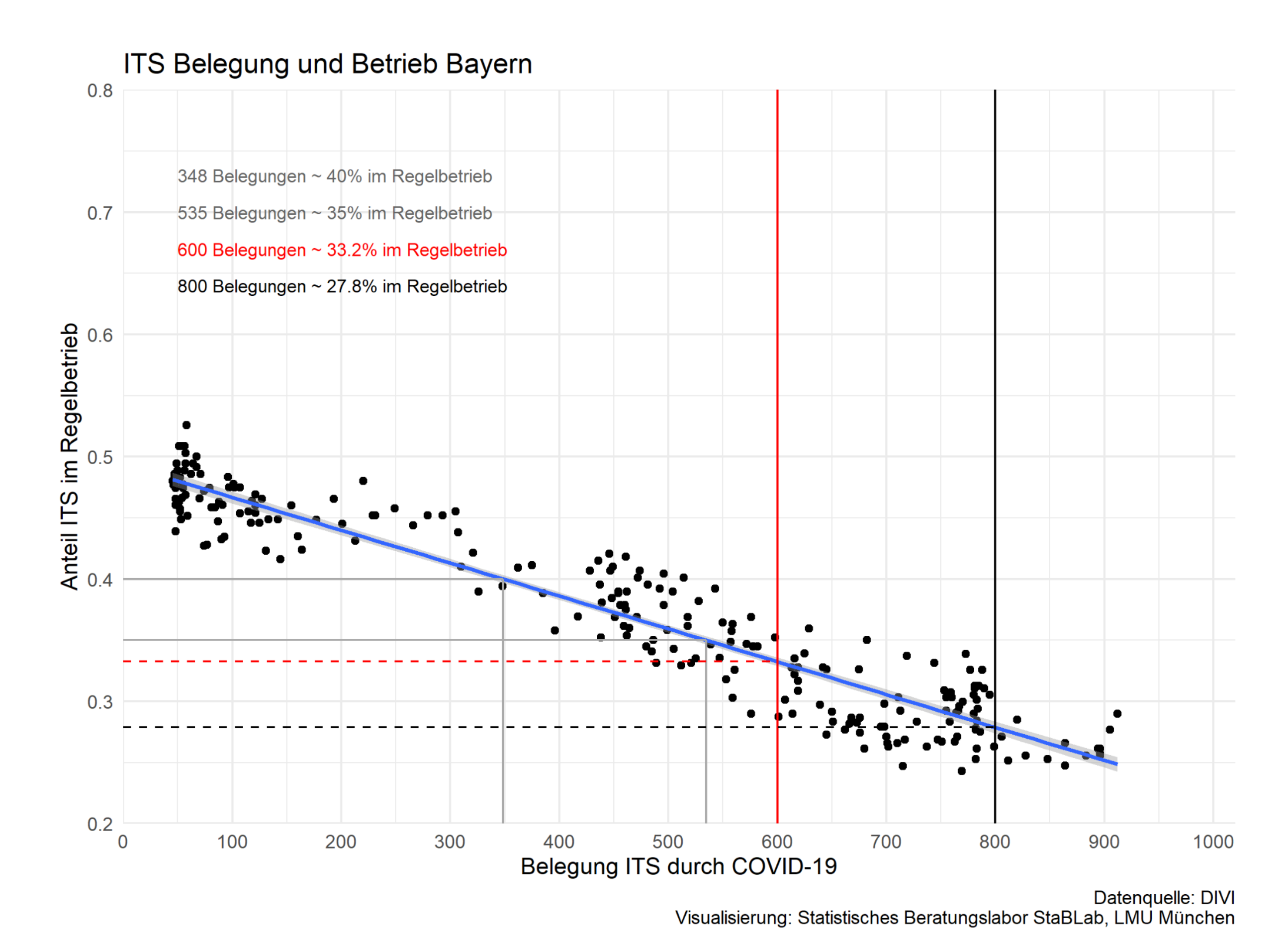
Eine zentrale Größe für das Funktionieren des Gesundheitssystems ist das Ausmaß der Belegung der Intensivstationen. Bezogen auf die allgemeine Belegung der insgesamt vorhandenen Intensivbetten gibt die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Notfall- und Intensivmedizin (DIVI) eine Auslastung von 80% als absolute Obergrenze an, da ansonsten z.B. die Opfer eines größeren Verkehrsunfalls oder mehrereSchlaganfallpatient*innen an einem Tag nicht mehr adäquat versorgt werden können. Andererseits wird bereits seit letztem Jahr empfohlen (Bundesministerium für Gesundheit, Deutsche Krankenhausgesellschaft), maximal 25% der insgesamt vorhandenen Intensivbetten mit COVID-19- Patient*innen zu belegen. Bezogen auf Bayern (derzeit etwa 3200 insgesamt vorhandenen Intensivbetten ohne „Notfallreserve") ergäbe sich eine maximale Belegung von etwa 800 Betten mit COVID-19-Patient*innen.

Im Folgenden soll zunächst untersucht werden, inwieweit sich die Belegung auf die Aufrechterhaltung eines intensivmedizinischen Regelbetriebs auswirkt. Das Robert Koch-Institut stellt gemeinsam mit der DIVI täglich valide Daten zur Belegung von Betten mit COVID-19-Patient*innen auf Intensivstationen zur Verfügung[2]. Zusätzlich wird jeweils eine Einschätzung der Betriebssituation auf den einzelnen Intensivstationen angegeben. Diese subjektive Einschätzung basiert auf den Angaben der jeweiligen Intensivstationen. Hier gibt es die Kategorien "regulärer Betrieb", "teilweise eingeschränkter Betrieb", "eingeschränkter Betrieb" und "keine Angabe". Diese Kategorien stehen mutmaßlich in engem Zusammenhang mit der Belegung der Stationen mit COVID-19-Patient*innen und könnten als mögliche Grundlage für eine Grenzwertbestimmung auf Landesebene verwendet werden. In Abbildung 1.1 ist der Zusammenhang zwischen der Belegung mit COVID-19-Patient*innen und dem Anteil der Intensivstationen (ITS) in Bayern dargestellt, die sich nach diesen Angaben in "regulärem Betrieb" befinden. Es wurden nur Daten aus

[2] www.divi.de / https://www.intensivregister.de

dem Jahr 2021 verwendet. Die Coronavirus-Pandemie veranlasste das Bundesgesundheitsministerium zunächst dazu, die für die Intensivmedizin bestehenden Pflegepersonaluntergrenzen vom 1. März bis zum 31. Dezember 2020 befristet auszusetzen. Seit Januar 2021 gelten erneut die Pflegepersonaluntergrenzen in den Bereichen Intensivmedizin und Geriatrie. Der Zusammenhang zwischen der Belegung und dem Betriebszustand lässt sich gut durch eine Regressionsgerade beschreiben (Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0.9$).

Abbildung 1.1: Intensivstationen in Bayern vom 01.01.2021 - 30.08.2021: Belegung und Angaben zur Einschätzung des Betriebszustandes. Eingezeichnet ist die Gerade der linearen Regression. Die Punkte, die einem Anteil der Intensivstationen mit “regulärem Betrieb” von 40% bzw. 35% entsprechen, sind markiert. Die damit assoziierten Werte für die Belegung durch COVID-19 Patient*innen liegen bei 348 bzw. bei 535. Ebenfalls sind die Punkte, die einem Grenzwert von 600 (rot) bzw. 800 (schwarz) Belegungen entsprechen, markiert.



Zu erkennen ist hier, dass 2021 trotz zeitweise nur sehr geringer Belegung durch COVID-19-Patient*innen nie mehr als ca. 50% der Bayerischen Intensivstationen einen Regelbetrieb meldeten. Diese Beobachtung weist darauf hin, dass unabhängig von der Pandemie-Aktivität weiterhin die Masse der Intensivstationen von anhaltenden strukturellen und/oder personellen Veränderungen betroffen ist, die einen normalen Betrieb verhindern.

Bei einer Belegung von 800 bis 900 Betten durch COVID-19 Patient*innen sinkt der Anteil der Intensivstationen mit Regelbetrieb nach diesem Modell auf etwa 25%. Eine derartig hohe Belegung entspricht auch dem intensivmedizinischen Auslastungslimit für Bayern, ca. 800

COVID-19 Patient*innen (vgl. oben). Bei Erreichen dieses Limits ist es sehr wahrscheinlich, dass COVID-19-Patient*innen bereits in deutliche Konkurrenz mit anderen intensivpflichtigen Patient*innen treten, und dass das Personal wieder vermehrt in COVID-19-Bereichen eingesetzt wird bzw. planbare Eingriffe zurückgefahren werden.

Der obige Zusammenhang könnte dazu verwendet werden, um Grenzwerte festzulegen, bei denen Maßnahmen zur Pandemieeindämmung in Kraft treten. Der von der Bayerischen Staatsregierung festgelegte Grenzwert von 600 Betten entspricht etwa einem Anteil der Intensivstationen mit regulärem Betrieb von 33%.

Abbildung 1.2: Intensivstationen in Deutschland vom 01.01.2021 - 30.08.2021: Belegung und Angaben zur Einschätzung des Betriebszustandes. Eingezeichnet ist die Gerade der linearen Regression. Die Punkte, die einem Anteil der Intensivstationen mit "regulärem Betrieb" von 40%, 35% bzw. 33% entsprechen, sind markiert. Die damit assoziierten Grenzwerte für die Belegung COVID-19 Patient*innen liegen bei 3587, 4702 und 5147.

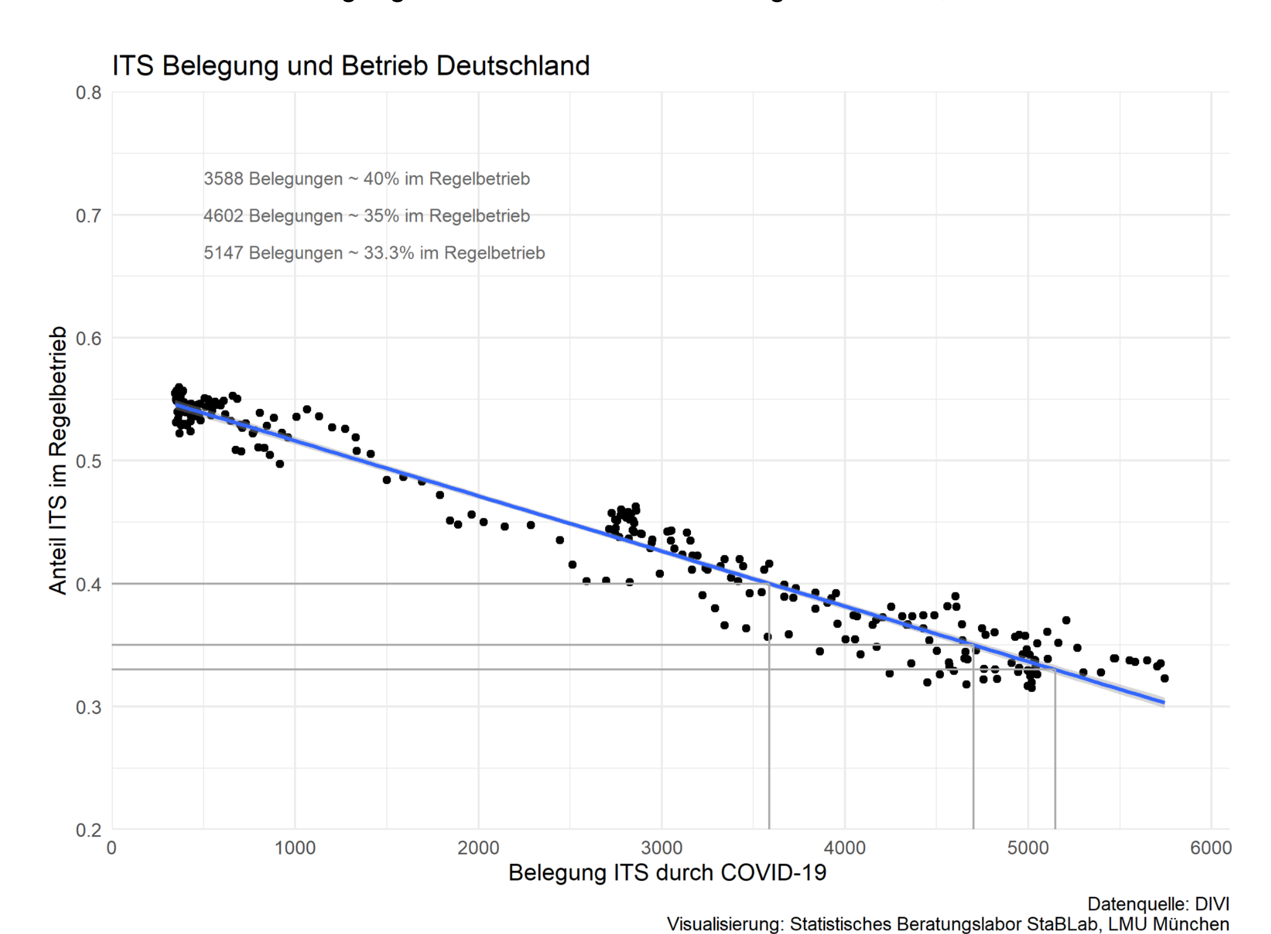


Abb. 1.2. zeigt den entsprechenden, ebenfalls sehr engen Zusammenhang für Deutschland (Bestimmtheitsmaß der Regression R^2=0.95). Auch hier meldeten seit Jahresbeginn zu keinem Zeitpunkt mehr als 50% aller Intensivstationen einen regulären Betrieb. Um einen "regulären Betrieb" in mindestens 40%, 35% bzw. 33% der Intensivstationen aufrecht erhalten zu können, sollte die Belegung mit COVID-19 Patient*innen nicht höher als ungefähr 1600, 4700 bzw. 5100 Patient*innen sein.

Relation zur Hospitalisierung

Aus der Höhe der absoluten Belegung mit intensivpflichtigen COVID-19 Patient*innen kann mit Hilfe der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation und der prozentualen Aufnahmerate hospitalisierter Patient*innen auf Intensivstationen die damit verbundene Zahl der Krankenhaus-Neuaufnahmen abgeleitet werden, siehe dazu unserer Überlegungen vom 16.4.2021.[3] Bei der Annahme einer konstanten Anzahl von intensivmedizinischen Neuaufnahmen lässt sich die erwartete Belegung aus der erwarteten Liegedauer (= E(Liegedauer)) mit Hilfe der Formel Belegung = E(Liegedauer)* Anzahl(Neuaufnahmen) berechnen.

Es soll nun eine Belegung von 600 intensivpflichtigen COVID-19 Patient*innen genauer untersucht werden. Zur Abschätzung der damit assoziierten Zahl an Krankenhaus-Neuaufnahmen werden zunächst die Daten der COVID-SARI-Fälle aus dem ICOSARI-Krankenhaus-Sentinel des RKI (KW 10/2020 bis KW 8/2021) verwendet[4]. Geht man von der publizierten Liegedauer von 15 Tagen auf Intensivstation aus, so entspricht eine Belegung von 600 COVID-19 Patient*innen einer Anzahl an täglichen Neuaufnahmen auf bayerischen Intensivstationen von 600/15 = 40. Der entsprechende Wert pro Woche liegt bei 280. Aus diesem Wert lässt sich ein Wert für die Krankenhaus-Neuaufnahmen unter Berücksichtigung der prozentualen Aufnahmerate hospitalisierter Patient*innen auf Intensivstationen berechnen,. Geht man von der publizierten Aufnahmerate von 33% aus, so ergibt sich für die wöchentlichen Krankenhaus-Neuaufnahmen für Bayern ein Wert von 280 x (100/33) = **848 COVID-19 Patient*innen**. Daraus errechnet sich eine **7-Tages Inzidenz von 848/131 = 6.5 Krankenhaus-Neuaufnahmen von COVID-19-Patient*innen pro 100 000 Einwohner** in Bayern.

Die vom RKI publizierten Zahlen beruhen allerdings nur auf 14 703 hospitalisierten Fällen, (Krankenhausletalität 25.5%), die in den 72 Krankenhäusern des ICOSARI-Sentinels behandelt wurden. Eine alternative, breiter aufgestellte Analyse kann auf Basis der gemeldeten InEK Daten für das Jahr 2020 erfolgen (172 248 hospitalisierte Fälle, Krankenhausletalität 17.6%, intensivmedizinisch betreute Fälle mit OPS Komplexkode 8-980 oder 8-98f, und mit einer mittleren Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation von elf Tagen, und einer prozentualen Aufnahmerate hospitalisierter Fälle auf Intensivstationen von 15.2%).[5] In Analogie zur Berechnung oben ergibt sich für eine Belegung von 600 so eine Anzahl von wöchentlichen Krankenhaus-Neuaufnahmen für Bayern von **2 512 COVID-19 Patient*innen** und eine **7-Tages Inzidenz von 19.02 COVID-19-Krankenhaus-Neuaufnahmen pro 100 000 Einwohner** in Bayern.

Diese sehr unterschiedlichen Ergebnisse beruhen mutmaßlich darauf, dass a) vom RKI ein selektioniertes kränkeres Patient*innen-Kollektiv (nur “echte” COVID-Patient*innen,

---

[3] https://www.covid19.statistik.uni-muenchen.de/pdfs/grenzwert.pdf

[4] *Schilling J, Tolksdorf K, Marquis A, Faber M, Pfoch T, Buda S, Haas W, Schuler E, Altmann D, Grote U, Diercke M; RKI COVID-19 Study Group. Die verschiedenen Phasen der COVID-19-Pandemie in Deutschland: Eine deskriptive Analyse von Januar 2020 bis Februar 2021- Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. 2021 Aug 10:1–14. doi: 10.1007/s00103-021-03394-x*

[5] *Augurzky B, Busse R, Haering A, Nimptsch U, Pilny A, Werbeck A. Analysen zum Leistungsgeschehen der Krankenhäuser und zur Ausgleichspauschale in der Corona-Krise – Ergebnisse für den Zeitraum Januar bis Dezember 2020 Im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit. RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung und Technische Universität Berlin; Essen, Deutschland 2021*

Krankenhaus-Letalität 25.5% vs. 17.6% bei den InEK Daten) ausgewertet wurde und dass b) die InEK Daten andererseits wegen der zusätzlichen Erfassung von nur CoV-2 positiven, aber nicht primär an COVID erkrankten Patient*innen zu positiv ausfallen. Die „realen“ Werte für die aktuelle Verweildauer auf Intensivstationen und für die Aufnahmeraten auf Intensivstationen dürften zwischen den publizierten Werten liegen. Im Mittel erscheinen eine Verweildauer von 13 Tagen und eine Aufnahmerate von etwa 25% gegenwärtig realistisch. Unter Verwendung dieser Zahlen wäre in Bayern eine Belegung von 600 COVID-19 Intensiv-Patient*innen mit wöchentlichen Krankenhaus-Neuaufnahmen von 1292 COVID-19-Patient*innen und mit einer **7-Tages Inzidenz von 9.9 COVID-19-Krankenhaus-Neuaufnahmen pro 100 000 Einwohner** assoziiert. Tabelle 1.1. zeigt den zusätzlichen Zusammenhang zwischen Belegungszahlen, Krankenhaus-Aufnahmeraten und Anteil der Intensivstationen mit Regelbetrieb.

Tabelle 1.1: Assoziation zwischen der Belegung von Intensivstationen und der Hospitalisierungsrate in Bayern und Deutschland. Ausgegangen wird jeweils von einem bestimmten Anteil von Intensivstationen mit Regelbetrieb.

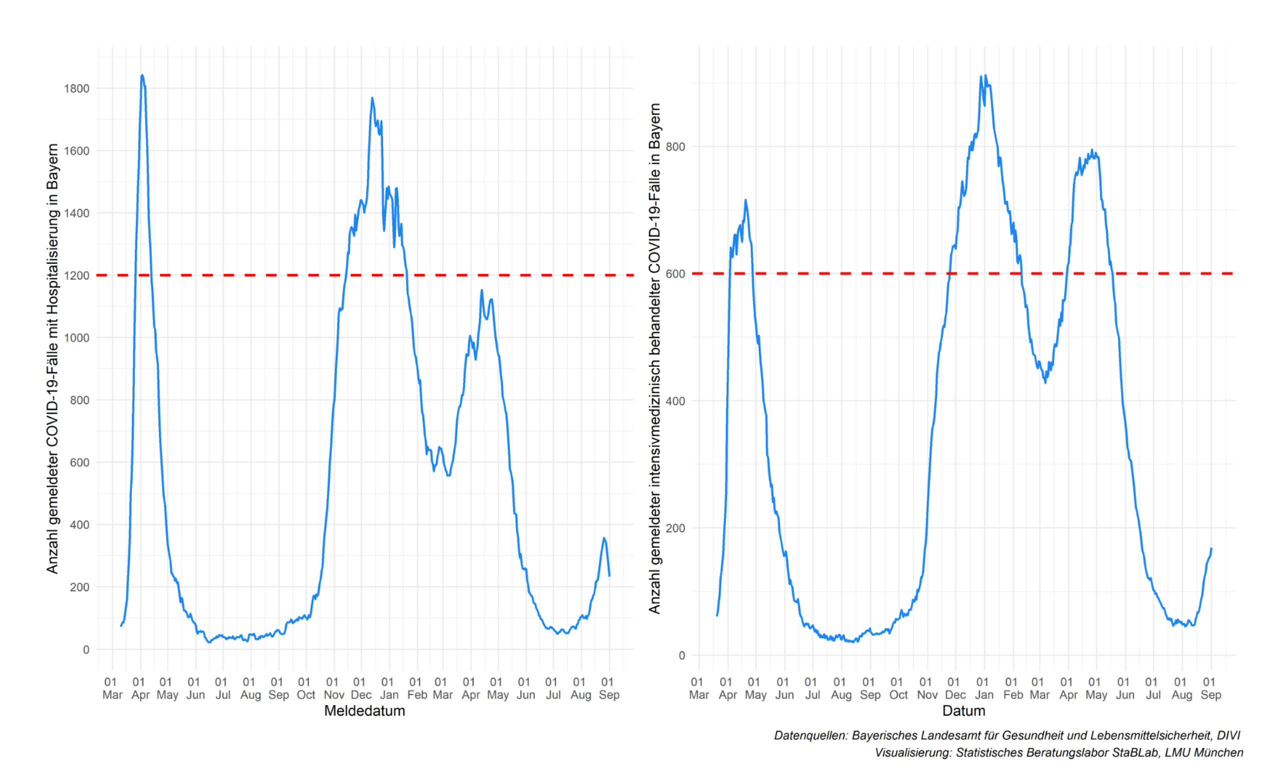
Anteil ITS im Regelbetrieb	**Belegung nach Modell**	**Belegung pro 100 000**	**Hospitalisierungen pro Woche**	**Hospitalisierungsrate pro 100 000 pro Woche**
Bayern				
33%	600	4.58	1292	9.85
35%	540	4.11	1163	8.87
40%	350	2.67	754	5.75
Deutschland				
33%	5150	6.19	11092	13.3
35%	4700	5.75	10316	12.4
40%	3590	4.31	7732	9.3

Als nächstes vergleichen wir die Grenzwerte der Belegungsrate (600 COVID-19 Intensiv-Patient*innen) und der wöchentlichen Krankenhaus-Neuaufnahmen (1200 COVID-19 Patient*innen) mit den seit dem 01.01.2021 in Bayern beobachteten entsprechenden Zahlen (Daten aus dem DIVI Register und der Datenbank des Bayerische Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit) (Abbildung 1.3.).

Es zeigt sich, dass in Bayern sowohl die 1200er- wie auch 600er-Marke bei den ersten beiden Wellen weitgehend zeitgleich überschritten wurden. Bei der dritten Welle (ab März 2021) findet sich jedoch eine Diskrepanz: Während es erneut zu einer Überschreitung der 600er-Belegungsmarke kam, blieb gleichzeitig die Zahl der wöchentlichen Krankenhaus-Neuaufnahmen unter 1200. Eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen wäre – im Vergleich zur ersten und zweiten Welle – entweder eine Verlängerung der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation und/oder eine Erhöhung der

prozentualen Aufnahmerate hospitalisierter Patienten auf Intensivstationen. Eine exakte Analyse dieses Phänomens ist noch ausstehend, unsere eigenen Auswertungen (CODAG - Bericht Nr. 19) suggerieren zumindest einen Anstieg der prozentualen Aufnahmerate (auf etwa 40%).

Abbildung 1.3: Verlauf der Krankenhaus-Neuaufnahmen (links) und der Belegung der Intensivstationen (rechts) in Bayern jeweils in absoluten Zahlen. Die horizontale Linie zeigt die 1200er-Marke für die wöchentlichen Krankenhaus-Neuaufnahmen bzw. die 600er-Marke für die belegten Intensivbetten an.



Die oben dargestellten Überlegungen weisen auf eine relevante Limitierung der Messgröße „Anzahlahl der Krankenhaus-Neuaufnahmen" als Indikator der Pandemie-Aktivität hin. Neben den bekannten Übermittlungsproblemen besteht eine grundsätzliche Limitierung aller bisher publizierter Aufnahme-Daten (Krankenhaus und Intensivstation) in einer Überschätzung der Zahl an „neuen" COVID-19-Patient*innen, und zwar bis Mitte des Jahres durch die Doppelzählungen durch Inter-Hospital-Transfer (lt. InEK 20%), und durch die in einigen Datenbanken (InEK, DIVI) bisher fehlende Unterscheidung zwischen Aufnahmen wegen primärer COVID-Erkrankung („echte" COVID-19-Patient*innen) und Aufnahmen wegen anderer Grunderkrankung und gleichzeitig nur positivem CoV-2 Test („falsche" COVID-19-Patient*innen)

Somit erscheint es gegenwärtig ratsam, die Belegungszahl auf Intensivstationen in den Vordergrund zu stellen (diese sind nicht sensitiv gegenüber Doppelzählungen, und das "mit-oder-an" Problem ist zu vernachlässigen, da es logistisch sowie pflegerisch im intensivmedizinischen Umfeld keine Unterschiede zwischen „echten" und „falschen" COVID-Patient*innen gibt).

Bei der Festlegung der Belegungsgrenzwerte, bei denen bestimmte Maßnahmen ergriffen oder aufgehoben werden, ist jedoch zusätzlich zu beachten, dass Maßnahmen zur Bekämpfung der Pandemie erst mit einem gewissen Zeitverzug die Belegung mit intensivpflichtigen COVID-19 Patient*innen beeinflussen (Zeitraum zwischen Symptombeginn und Aufnahme auf eine Intensivstation 5 – 7 Tage). Daher wäre ein gewisser Sicherheitsabstand zu den definierten Werten sinnvoll. Im folgenden Abschnitt stellen wir deswegen eine Strategie vor, die Belegung zumindest für den Zeitraum einer Woche vorherzusagen.

2. Prognosemodelle für die Belegung von Intensivstationen in Bayern

Maximilian Weigert, Daniel Schlichting, Martje Rave, Helmut Küchenhoff

Seit dem 01.09.2021 wird die Belegung der Betten auf Intensivstationen mit COVID-19-Patient*innen als eine neue Kenngröße zur Steuerung der Pandemie in Bayern verwendet. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, gilt derzeit ein Grenzwert von 600 belegten Intensivbetten. Bei Überschreiten dieses Grenzwertes sollen verstärkt Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie getroffen werden. Wegen des Zeitverzugs ist eine Prognose der künftigen Entwicklung der Bettenbelegung ist essentiell, um so auch rechtzeitig mögliche Maßnahmen vorzubereiten und somit auf zu erwartende Auslastungsprobleme frühzeitig reagieren zu können.

Von uns wurden zwei Ansätze zur Prognose der Bettenbelegung entwickelt. Der erste Ansatz, der bereits im CODAG-Bericht Nr. 14 genauer erläutert wurde, basiert auf einer deutschlandweiten Analyse der Bettenbelegung auf Intensivstationen und liefert wöchentliche Prognosen für die einzelnen Landkreise.

Im Folgenden wird eine weitere Methode vorgestellt, die von Sebastian Fischer in Kooperation mit Andreas Beyerlein und Christian Nagel für die Stadt München entwickelt wurde und dort erfolgreich eingesetzt wird. Dieser Ansatz wurde für die Anwendung auf bayerische Daten erweitert und ermöglicht eine Prognose der zukünftigen Bettenbelegung bis zu 14 Tage. Dabei wird aus den Daten der vergangenen Wochen der Zusammenhang zwischen der täglichen Veränderung der Anzahl der belegten Intensivbetten und der Fallzahlen (Inzidenzen) in der Altersgruppe über 60 Jahren in der Vergangenheit (ab 14 Tage früher) mit Hilfe eines linearen Regressionsmodells geschätzt. Für eine valide Berechnung der Fallzahlen wird das von uns entwickelte Nowcasting-Verfahren[6] angewandt. Die Güte der Prognose wird im Rahmen des Verfahrens anhand des Root Mean Squared Error (RMSE) evaluiert, die Unsicherheit der Prognose wird über die Bestimmung eines 95%-Prognoseintervalls quantifiziert. Eine genauere Beschreibung zur Methodik findet sich am Ende des Kapitels.

Prognose

Die durch das Modell prognostizierte Intensivbettenbelegung in Bayern für die kommenden sieben Tage (Stand: 02.09.) wird in Abbildung 2.1 und Tabelle 2.1 dargestellt. Die Anzahl der belegten Betten steigt gemäß des Modells innerhalb einer Woche von derzeit 165 in den kommenden sieben Tagen auf 242. Der seit Mitte August zu beobachtende Trend hin zu einer deutlich zunehmenden Belegung und damit einhergehend auch einer zunehmenden Belastung des Gesundheitssystems scheint sich somit auch weiterhin fortzusetzen. Auch der Verlauf der unteren Grenze des 95%-Prognoseintervalls würde gegenüber der derzeit beobachteten Belegung noch einen erheblichen Anstieg bedeuten.

[6] Günther, F., Bender, A., Katz, K., Küchenhoff, H., & Höhle, M. (2021). Nowcasting the COVID-19 pandemic in Bavaria. *Biometrical Journal*, *63*(3), 490-502.

Abbildung 2.1: Verlauf der Belegung der Intensivstationen zum Datenstand 02.09.2021 (rot) und Prognose (blau) für die kommenden sieben Tage (03.09. - 09.09.2021) in Bayern

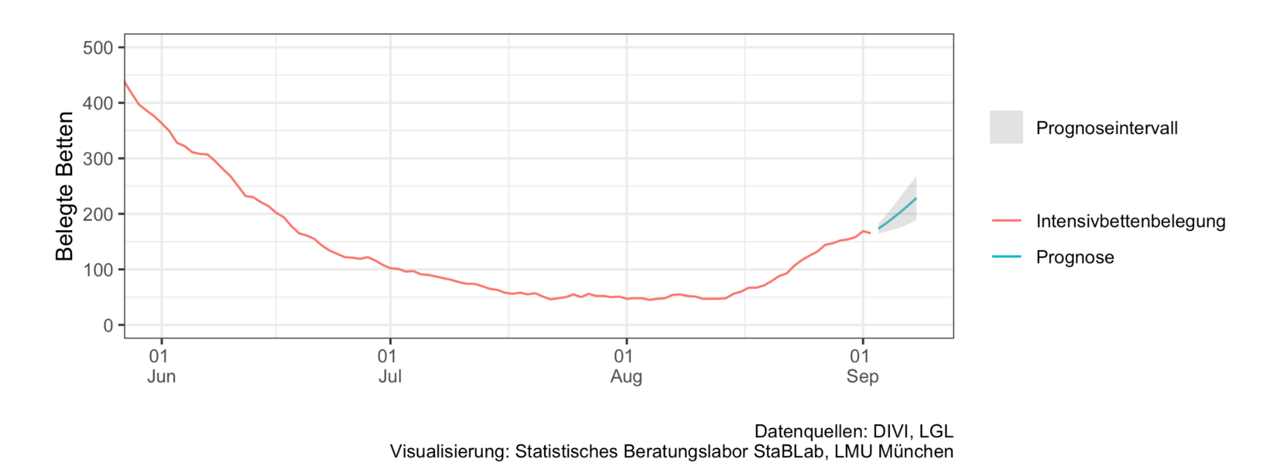
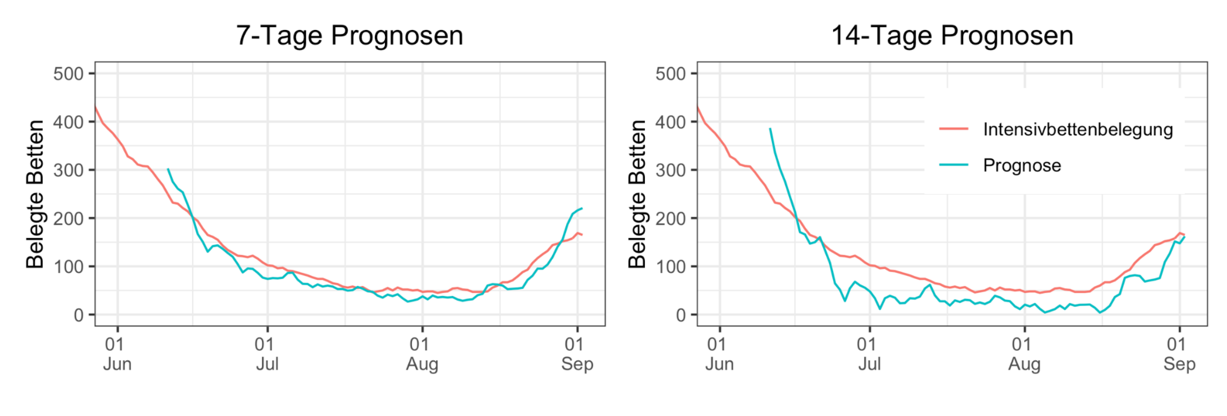


Tabelle 2.1: Vorhersagen der Anzahl der belegten Intensivbetten für den Zeitraum vom 03. - 09.09.2021 sowie sowie obere und untere Grenze des 95%-Prognoseintervalls (Datenstand: 02.09.2021)

Datum	03.09.	04.09.	05.09.	06.09.	07.09.	08.09.	09.09.
Vorhersage	173	183	193	204	216	229	242
Untere Grenze	165	168	172	176	182	189	198
Obere Grenze	182	197	215	233	250	268	286

Abbildung 2.2: Retrospektiver Vergleich des Verlaufs von beobachteter (roter) und prognostizierter (blauer) Intensivbettenbelegung bei 7- (links) und 14-Tage-Prognosen (rechts) in Bayern in den vergangenen zwölf Wochen



Die Evaluation des Prädiktionsmodells erfolgt rückwirkend anhand der in der Vergangenheit tatsächlich beobachteten Belegungen. Abbildung 2.2 stellt beispielhaft für die vergangenen zwölf Wochen die Verläufe der 7- und 14-Tage-Prognosen und den beobachteten Verlauf der

Intensivbettenbelegungen gegenüber. Während die Kurve der 7-Tage-Prognose meist recht nah an der beobachteten Kurve liegt, zeigt sich bei der 14-Tage-Prognose eine systematische und teilweise recht deutliche Unterschätzung. Die 7-Tagen-Prognosen weisen somit eine deutlich bessere Güte auf als die 14-Tage-Prognosen. Dies wird auch anhand des RMSE ersichtlich, der bei den 14-Tage-Prognose (45) mehr als doppelt so hoch ist wie bei der 7-Tage-Prognosen (22). Generell liefert das Modell sehr genaue Vorhersagen, wenn der Prognosehorizont nur wenige Tage in der Zukunft liegt. Je weiter allerdings der zeitliche Abstand bezüglich der Prognose ist, desto größer wird deren Unsicherheit. Dies lässt sich in Abbildung 2.1 auch graphisch anhand der breiter werdenden Prognoseintervalle beobachten. Aus diesem Grund werden hier auch nur die Prädiktionen für bis zu sieben Tage in die Zukunft angegeben.

Insgesamt stellt das vorgestellte Prognosemodell ein hilfreiches Instrument dar, um die zukünftige Entwicklung der Lage auf den Intensivstationen wenige Tage im Voraus (unter Berücksichtigung der Zeitverzögerung zwischen Infektion und Aufnahme auf Intensivstation) besser abschätzen zu können. Besonders geeignet ist das Modell für Prognose- Horizonte bis zu einer Woche, bei darüber hinausgehenden Vorhersagen nimmt die Unsicherheit erheblich zu. Die Prognosen für die kommende Woche deuten darauf hin, dass der seit Mitte August andauernde Trend zu einer Zunahme der Bettenbelegung weiter anhalten wird. Auch wenn die prognostizierten Zahlen noch deutlich vom Grenzwert von 600 belegten Betten entfernt sind, sollte die weitere Entwicklung dieser Kenngröße in den nächsten Wochen genau beobachtet werden.

Details zur Methodik

Sei y_t die Intensivbettenbelegung am Tag t, $d_t = y_t - y_{t-1}$ die Differenz der Bettenbelegung zum Vortag $t - 1$und x_t die über das Nowcasting-Verfahren geschätzte Anzahl der Neuinfektionen in der Altersgruppe über 60 Jahren am Tag t. Seien außerdem

$$z_t = \sum_{l=l_{min}}^{l_{min+7}} x_{t-l}$$

die um l Tage zurückliegenden und über sieben Tage kumulierten Fallzahlen sowie n die Größe des rollenden Fensters.

Die Prognose wird mit Hilfe des folgenden linearen Regressionsmodells geschätzt:

$$d_t = \beta_0 + \beta_1 \times z_t.$$

Für die Schätzung des Modells werden die n Datenpunkte $(d_t, z_t),..., (d_{t-n+1}, z_{t-n+1})$ verwendet.

Zur Prognose am Tag $t + h$ werden die Differenzen aus obigem Modell geschätzt und aufsummiert:

$$\hat{y}_{t+h} = y_t + \sum_{i=1}^{h} d_{t+h}.$$

Das optimale rollende Fenster n sowie die optimalen Lags $l_{min},..., l_{min+7}$werden dabei mit Hilfe der Prädiktionen der vergangenen zwölf Wochen (84 Beobachtungen) zu den Prognosehorizonten $h = 1,..., 14$ ausgewählt. Für verschiedene Parameterkonfigurationen wird dabei für jeden der Prognosehorizonte h der entsprechende Prognosefehler anhand des RMSE gebildet. Anschließend wird dasjenige Modell selektiert, das den bezüglich aller Prognosehorizonte niedrigsten gemittelten RMSE aufweist[7].

Das 95%-Prädiktionsintervall für Zeithorizont h wird folgendermaßen approximativ berechnet:

$$[\hat{y}_{t+h} - 2 \times RMSE(h), \hat{y}_{t+h} - 2 \times RMSE(h)].$$

[7] Für das vorgestellte Prognosemodell wurden ein rollierendes Fenster der Größe 35 sowie die Lags 17 bis 23 ausgewählt.

3. Aktuelle Analysen zu den Neuaufnahmen in Intensivstationen

Helmut Küchenhoff, Wolfgang Hartl, Daniel Schlichting

Wie in den letzten Berichten analysieren wir die Neuaufnahmen auf Intensivstationen (ITS) getrennt nach Bundesländern. Es liegen uns dazu leider keine regionale Daten zu den täglichen Neuaufnahmen vor. Das Robert Koch-Institut stellt aber gemeinsam mit der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Notfall- und Intensivmedizin (DIVI) täglich Daten zur Belegung von Betten mit COVID-19-Patient*innen auf Intensivstationen zur Verfügung[8]. Diese Daten werden vollständig und zeitnah gemeldet. Die tägliche Anzahl der Neuaufnahmen auf Intensivstationen wird bisher jedoch im Intensiv-Register bzw. den öffentlichen Tagesberichten nur auf Bundesebene veröffentlicht.

Die Berichterstattung wurde von der DIVI zum 11.08.2021 dahingehend geändert, dass zwischen Neuaufnahmen und Sekundär-(Zweit-)Aufnahmen unterschieden wird. Der Anteil dieser Doppelzählungen lag bisher in der Größenordnung von etwa 20%. Damit Werte vor dem 11.8. weiter in die Analyse miteinbezogen werden können werden, werden diese mit einem Korrekturfaktor von 0.8 multipliziert.

Um die entsprechenden Zahlen auf der Ebene der Bundesländer abzuschätzen, verwenden wir ein statistisches Modell. Ziel der aktuellen Analyse ist es, Trends und strukturelle Veränderungen bei der Zahl an Neuaufnahmen auf Intensivstationen zu erkennen. Dafür verwenden wir Bruchpunktmodelle. Hierbei wird der Verlauf der Kurven datengesteuert in unterschiedliche Phasen gleichen Wachstums bzw. Rückgangs eingeteilt. Details zur Methodik siehe Küchenhoff et al. (2020)[9]. **Wir betrachten hier die aktuellsten Entwicklungen. Im Vergleich zur letzten Analyse sind deutliche Veränderungen zu erkennen. Auch wenn die Aufnahme-Raten im Allgemeinen noch auf einem niedrigen Niveau liegen, gibt es in Baden-Württemberg, Bremen/Niedersachsen, Hamburg Schleswig-Holstein, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, und dem Saarland einen Trend zu steigenden Zahlen bei den Aufnahmen. In Bayern ist ein steigender Trend ab dem 10.8. zu beobachten (jedoch mit einer gewissen Stabilisierung ab dem 24.8.) In den östlichen Bundesländern dagegen finden sich weiterhin stabile Raten (Berlin-Brandenburg, Sachsen) oder sogar weiterhin fallende Raten (Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Thüringen).**

[8] www.divi.de / https://www.intensivregister.de

[9] Küchenhoff, H., Günther, F., Höhle, M. und Bender, A. *Analysis of the early COVID-19 epidemic curve in Germany by regression models with change points.* Epidemiology and Infection, 2021 Vol 149, e68. *DOI: https://doi.org/10.1017/S0950268821000558*

Abbildung 2.3: Geschätzter Verlauf der täglichen Neuaufnahmen in Intensivstationen in den deutschen Bundesländern. Dargestellt sind jeweils die Anzahlen pro 100.000 Einwohner. Die blauen Linien markieren jeweils die geschätzten Punkte der Trendänderung mit den zugehörigen Konfidenzintervallen.

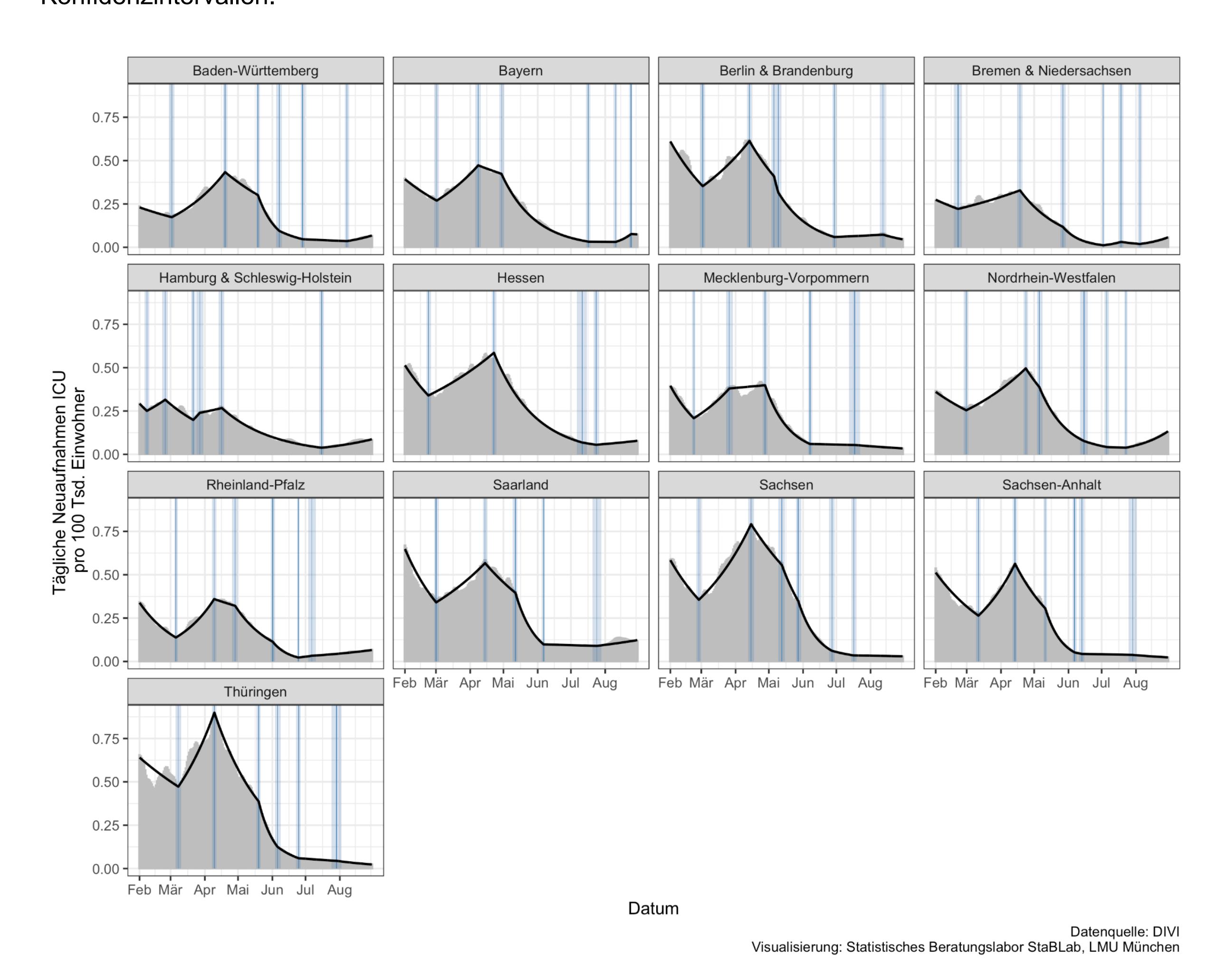


Tabelle 3.1: Vergleich der Indikatoren für das Infektionsgeschehen in den verschiedenen Bundesländern. Angegeben ist das Datum der letzten Trendänderung bei den ITS Neuaufnahmen entsprechend dem Bruchpunktmodell, der aktuelle tägliche Steigungsfaktor (geschätzt aus Bruchpunktmodell), die belegten Betten pro 100.000 Einwohner und die prozentuale Veränderung im Vergleich zur Vorwoche. Schließlich wird die geschätzte Anzahl an täglichen Neuaufnahmen pro 100.000 und deren prozentuale Veränderung im Vergleich zur Vorwoche angegeben. Alle Angaben zum Datenstand 30.8.21.

Bundesland	Datum der letzten Trend-Änderung ITS-Aufnahmen	aktueller tägl. Steigungs-faktor der ITS-Aufnahmen	Belegte ITS Betten pro 100.000	Änderung der belegten ITS Betten in %	Geschätzte Anzahl tägl. Neuaufnahmen pro 100.000	Änderung der tägl. Neuaufnahmen in %
Saarland	25.7.	1.009 (1.004-1.013)	2.4	18.3	0.12	-8.3
Nordrhein-Westfalen	23.7.	1.033 (1.030-1.036)	2.0	48.7	0.13	22.8
Hamburg, Schleswig-Holstein	15.7.	1.018 (1.014-1.023)	1.6	23.4	0.08	-3.4
Hessen	24.7.	1.009 (1.006-1.013)	1.4	34.6	0.08	10.7
Rheinland Pfalz	7.7.	1.013 (1.010-1.016)	1.2	35.4	0.07	15.6
Bayern	24.8.	0.997 (0.983-1.010)	1.2	69.8	0.08	28.0
Baden-Württemberg	7.8.	1.029 (1.024-1.034)	1.1	46.6	0.07	15.7
Berlin, Brandenburg	12.8.	0.974 (0.966-0.983)	1.1	-2.7	0.05	-14.8
Bremen, Niedersachsen	5.8.	1.044 (1.037-1.051)	0.9	52.5	0.06	31.0
Mecklenburg-Vorpommern	18.7.	0.990 (0.986-0.993)	0.6	41.8	0.03	-8.9
Sachsen	17.7.	0.997 (0.994-1.000)	0.6	13.9	0.03	-7.1
Thüringen	29.7.	0.981 (0.976-0.985)	0.4	-4.0	0.02	-11.1
Sachsen-Anhalt	29.7.	0.985 (0.982-0.989)	0.3	66.7	0.02	-9.3

Die Ergebnisse unterstreichen die gegenwärtig stark regionale Aktivität der Pandemie mit deutlichen Unterschieden zwischen Ost- und Westdeutschland.